

自律移動型インタラクティブデジタルテーブルの設計と評価

浅利 勇佑^{†1} 坂本 登^{†1} 高嶋 和毅^{†1}
横山 ひとみ^{†2} Ehud Sharlin^{†3} 北村 喜文^{†1}

概要: 我々は、作業内容や人々の希望などに応じて自律的に移動可能なインタラクティブテーブルの検討を進めている。本稿では、(1)自律移動可能なインタラクティブテーブルトップの提案と実装、(2)自律移動の合図(手がかり)をユーザに対してテーブルトップコンテンツを利用して提示する方法(Motion Stylization)、および(3)協調作業や公共の場におけるテーブルの自律移動が与える影響をユーザスタディにより評価した結果を報告する。研究の成果として、利用場面に応じた二種類の自律移動型テーブルトップを実装し、(2)、(3)の検討にて利用した。ユーザスタディの結果、我々が設計した Motion Stylization はテーブルの自律移動を予測するための手がかりになり、またインタラクティブタスク中のテーブルの自律移動はユーザの空間行動を促し、特に複数台同時利用した場合において協調作業や場に対する印象を変化させたことを確認した。

Design and Evaluation of Moving Interactive Tabletops

Yusuke Asari^{†1} Noboru Sakamoto^{†1} Kazuki Takashima^{†1}
Hitomi Yokoyama^{†2} Ehud Sharlin^{†3} Yoshifumi Kitamura^{†1}

Abstract: We explore moving interactive tabletop interface which is actuated according to users demand or social needs based on situational awareness technology. We present the (1) design and implementation of a set of moving interactive tabletop prototypes and (2) discuss a technique that augments its visual content in order to provide Motion Stylization to tabletop users. (3) We discuss the results of a user study assessing how people perceive table movements, how these movements affect their interaction in collaborative scenarios, and how synchronized movements of multiple tabletops (e.g., gathering together to create a larger interactive surface) impacts collaborative tasks. Our findings confirm that the visual augmentation of its tabletop content was helpful in providing Motion Stylization to users, and that tabletop movement had significant effects on people's spatial behaviors during interaction, effects that peaked in collaborative scenarios with multiple moving tabletops.

1. はじめに

テーブルは、モノを置いたりする機能だけではなく、空間内における人々の行動やコミュニケーションに大きな影響を与える重要な空間要素である⁴⁾。最近では、その特徴を発展させ、テーブル面にインタラクティブサーフェスが実装されたデジタルテーブルなどが盛んに開発されている。

テーブルを利用する際に、人々は、テーブルや他のユーザから離れたり、近づいたりテーブル周囲における立ち位置を変化させることがある³⁾¹⁶⁾。それらは、例えばプライバシーの保持や、情報共有のための同一視野の確保などの目的でなされる。これらはコミュニケーションや作業を円滑にするための基本的な非言語的行動であり、意識的または無意識的になされる。これらは空間行動とも呼ばれ、グループの規模、部屋の大きさ、家具や壁、床などの空間要素によっても影響を受け、テーブルトップ上での協調作

業の場合は、テーブルの形状や大きさなどの物理的特徴から最も大きな影響を受ける。

これらの考えに基づき、デジタルテーブル上での協調作業やグループワークの空間をより柔軟にかつ動的にする研究が行われてきた。ConnecTables は、ユーザそれぞれが移動可能なテーブルトップを持ち、状況に応じて手動で移動させ、情報保護のために単独で利用したり、複数台を結合させることで広い作業領域を得ることができる²²⁾。また、我々は、カメラやシステムがユーザの状況を把握する技術に基づき、状況に応じてテーブル面が能動的にその形状を変化させ、テーブル周囲のユーザの立ち位置の変化を通して快適な空間へ導く TransformTable を提案している¹⁹⁾。我々はさらに、自律移動可能なデジタルテーブルを開発し、コミュニケーション場面での空間行動への影響を検証してきた²⁶⁾²⁷⁾。しかし、これらは、インタラクティブタスクにおける検証や、テーブルの物理的な自律移動に対するユーザの印象などに対しての検証をほとんどしていなかった。

そこで本稿では、これまでの知見を踏まえて二種類の自律移動型デジタルテーブル *Movement Tables(MT)* を提案し、その開発および評価について報告する。今回実装した *MT*

^{†1} 東北大学 電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

^{†2} 東京農工大学大学院工学研究院

Tokyo University of Agriculture and Technology Institute of Engineering

^{†3} University of Calgary, Canada

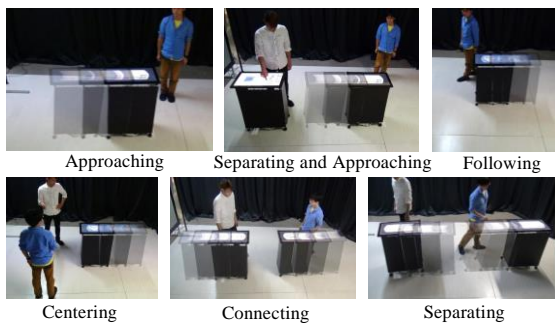


図 1 *MovementTable*

は、インタラクティブサーフェスを有し、適度な速度で物理的な並進と回転をすることができ、複数台利用した場合には結合と分離などが可能である。*MT*は環境センサなどを利用することで、利用者や家具との衝突を防ぎ、安全性を確保する。*MT*の自律移動を開始させるのは、ユーザの直接的な意図やコマンド、または環境センサを有する計算機システムの判断である。本研究では主に後者の利用場面を想定し、*MT*の自律的移動によってどのように人々の空間行動が影響を受けるかなど、ソーシャルインパクトについて検討する。テーブルが自律的に移動することにより、人々に立ち位置の変化を促すとともに、環境やタスクなどの状況に応じて適切な空間構成を提供することが可能である。テーブルの物理的移動は作業空間に大きな刺激を与える反面、衝突やユーザの驚きなどの負の効果もあり得る。そのため、本研究では、ただテーブルを自律移動させるだけでなく、デジタルテーブルの利点を活かし、視覚的な移動の手がかりを発生し、周囲のユーザにそのテーブルの移動を予測・理解させることを重要視する。これらは、我々の過去の研究²⁶⁾²⁷⁾やHRIでの知見²³⁾²⁴⁾からも明らかで、安全面のみならず、ユーザと自律移動型デジタルテーブル*MT*との円滑な関係を構築するためにも必要なことである。

本稿では、(1)自律移動可能なインタラクティブテーブルトップ*MovementTable (MT)*の実装(2)テーブルトップコンテンツを利用して自律移動の合図(手がかり)をユーザに提示する方法(Motion Stylization)、そして、(3)*MT*の自律移動が協調作業や空間に与える影響という3項目について検討した内容を報告する。

2. 関連研究

2.1 テーブルと人の空間行動

テーブルが持つ物理性は、付近のユーザの立ち位置やテーブル上の個人領域の取り方等、人々の空間行動に大きく影響を与えることが知られている¹⁶⁾²¹⁾。また、協調作業を行う上で、テーブル上の作業領域の使い勝手はテーブルとグループの位置関係によって作業領域の使い勝手が変わるとの報告もある¹³⁾。このような研究は静的に配置されたテ

ーブルトップで検討されており、テーブル自体の物理性がユーザの行動に応じて変化するようなことはなかった。

個人のディスプレイやタブレットを用いた作業領域の動的な接続については多くの研究がなされている⁸⁾²²⁾。

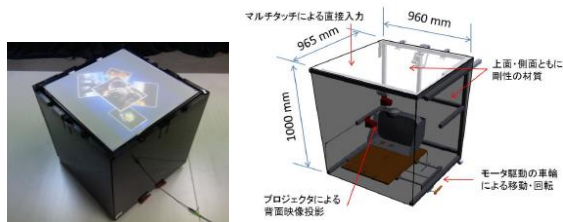
*ConnecTables*²²⁾はユーザが手で移動することができるテーブルトップディスプレイである。大きな作業領域を確保するために複数のテーブルを接続したり、複数のグループで利用するために分離したりという動作が可能であり、共同作業をしたい人同士が接近する等の基本的な空間行動の原理に基づいている。*TransformTable*は状況に適応して単独で自律変形が可能なテーブルであり、円、正方形、長方形と代表的な三つの形状に変形することが可能である。これは、テーブルを利用しているユーザ達の配置を滑らかに変化させることが目的であり、テーブル自体を移動させることは検証されていない¹⁹⁾。これらの研究を踏まえると、*MT*は自律移動、および複数のテーブルの物理的・論理的な連結により、作業空間を動的に移動および変化させることが可能なデバイスと位置付けることができる。

空間行動に基づいたインターフェースの開発は近年非常に活発になされている。例えば、*Proxemics interactions*³⁾や*F-formation*⁵⁾⁷⁾等、過去に心理学などで提唱されてきた基本的な概念がHCIの研究に応用されている。それに伴い、テーブルの周囲の状況を認識することができる*Medusa*¹⁾や*Bootstrapper*¹¹⁾などが開発されている。本研究では、これらの人と人の空間的關係を、テーブルの物理性と動きによって操作したり、刺激を与えようとするものである。

2.2 人とロボット

*MT*はロボティックデジタルテーブルという考え方もでき、HRI (Human Robot Interaction)の視点からも考える必要がある。ロボットがユーザに接近する行動やロボットが社会性(Social Acceptance)を持つための研究も盛んに行なわれており¹⁴⁾²⁵⁾²⁸⁾、ロボットが動く際の手がかりをユーザに与える方法なども様々に検討されている。例えば、キャラクターの表情を重畳して表示するものや¹⁷⁾、ヒト型ロボットであれば非言語的なジェスチャ¹⁰⁾などがある。また、動きやその意図を表現するためのアニメーション技術として、伸縮表現による動きの強調⁶⁾や、線などを加えることで動きの大きさや方向を表現する⁹⁾といった方法が提案されており、これらは、HRIの分野でも積極的に利用されている²⁰⁾²³⁾。*MT*では、これらの研究に基づき、テーブルトップ上のコンテンツを表示したまま利用して移動の手がかりを与えるためのアニメーションを検討する。

ロボットのインターフェースについて、テーブル型ロボットの基本的な部分についても研究されている。例えば、*Sawada*らは複数のテーブルロボットの位置を自動で変化させ、利用場面に応じてテーブル(会議机)の配置を自動的に変更可能なテーブル型ロボットを実装した¹⁵⁾。これは



(a) *MovemenTable Senior*.



(b) *MovemenTable Junior*.

図 2 試作した *MovemenTable*

ロボット型テーブルという観点で本研究と強く関連しているが、インタラクティブテーブルについては考慮していない。また、状況に適応した構成をリアルタイムで提供するという動きはなく、協調作業への影響などについても研究対象としていない。これ以外にも家具の分野で、モータなどを有したテーブルを移動させる研究はいくつかなされているものの、テーブル上のコンテンツによって利用者に合図を出すことや、協調作業場面における効果などについては研究の対象とされていない。

3. *MovemenTable* の実装

本研究では、コーヒータブル程度の大きさの *MovemenTable Senior (MTSr)* (図 2(a)) と、個人利用に適した小型の *MovemenTable Junior (MTJr)* (図 2(b)) の、二種類の *MovemenTable* を試作した。 *MTSr* はディスプレイの表示には内部からのプロジェクションを利用し、大きな筐体および FTIR によるインタラクティブ操作領域を持っている。 *MTJr* では、市販の液晶タッチディスプレイを用い、家庭用掃除ロボット Roomba を駆動部に用いている。

それぞれの *MT* は、外部の計算機のプログラムと環境センサによって制御されている。二つ以上の *MT* を同時に扱うこともでき、両者の結合や分離などの振る舞いが可能である。このプログラムは、それぞれの *MT* を統括的に管理できるように設計されており、ユーザスタディにおいても、Wizard of Oz¹²⁾形式の計画を立てることができる。

3.1 *MovemenTable Senior*

MovemenTable Senior (MTSr) (図 2 (a)) は幅 96cm、奥行き 96.5cm、高さ 100cm の車輪で動くインタラクティブテーブルであり、テーブルの大きさや高さは大人 4 人が立った状態で快適に使えるように設計されている。テーブルの上面は内部から超短焦点プロジェクタ (NEC M350XSJL) を用いてリアプロジェクションを行い、850×850mm の物理的なスクリーンを利用して最大 800×

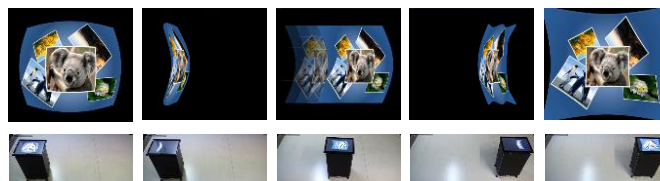


図 3 MotionStylization を利用したアニメーション

(a)Ready, (b)Set, (c)Go, (d)Stop, (e)Relax

600mm の大きさでの映像投影が可能である。また、我々はウェブカメラの PlayStationEye と赤外線 LED、Touchlib ライブラリを利用して FTIR 方式のマルチタッチ入力をスクリーンに実装した。 *MTSr* は内部のプロジェクタを動作させるための電源を確保するために電源ケーブルのみ接続されている。

MTSr はオンボード PIC のマイクロコントローラによって制御された 2 つの DC モータと車輪によって移動・回転し、Bluetooth 接続によって外部の計算機プログラムからコマンド送信を受け付ける。2 つの車輪の回転速度及び方向を個別に調整することにより、約 0.3 m/sec での並進移動と、約 $\pi/4$ rad/sec での回転をすることができる。 *MT* やユーザの位置や方向の情報は室内壁や天井に赤外線カメラを配置するモーションキャプチャシステムを利用して取得しており、後で述べる実験中などで衝突などは起きないように設計されている。

3.2 *MovemenTable Junior*

MovemenTable Junior (MTJr) (図 2(b)) は市販のタッチディスプレイ (27inch full HD, 1980×1080 pixels display, Iiyama ProLiteT27) を搭載したロボットテーブルであり、大きさは幅 67cm、奥行き 42cm、高さ 90cm のインタラクティブデジタルテーブルである。車輪のついたアルミラックをフレームとして用いており、ノートパソコンとディスプレイ用の電源供給用のバッテリーを内蔵しているため、完全に無線での運用が可能である。4 つの鉛直側面はすべて黒いプラスチック段ボールによって覆われている。Bluetooth レシーバを接続した Roomba の上にこれらに乗せ、移動・回転は RoombaSCI によって制御している。

4. テーブルトップコンテンツを用いたテーブル移動の合図 (手がかり) 表示の設計

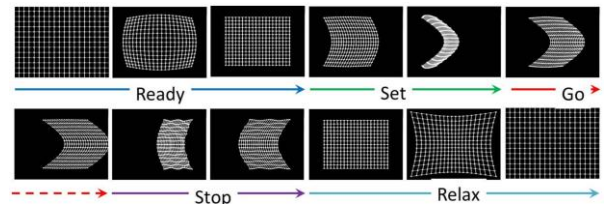
ユーザがテーブルの移動に気付く手がかりを与えるために、テーブルの物理的な動きと連動するテーブル上のコンテンツアニメーション (Motion Stylization) を実装した。他にも様々な言語・非言語的なものが考えられるが、 *MT* は移動の直前に利用されていたテーブルトップコンテンツをそのままアニメーションとして変形させ、非言語的な手がかりを提供する²⁴⁾ (図 4(a))。現在の *MT* では単純な直線運動のみ実装されており、次に示す 5 つの段階で構成されている。アニメーションでは、Squash-and-Stretch⁶⁾ (図

4(b)) や Speedlines⁹⁾ を上手く利用することにより、あたかもコンテンツがテーブルを動かしているかのように見せている。

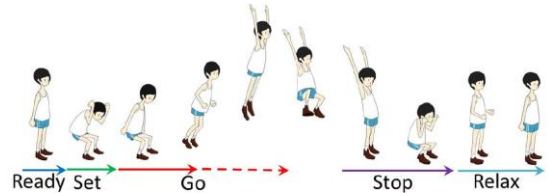
- ◆ **Ready:** 画面上のコンテンツをキャプチャし、アニメーションに利用する準備を行う。画像は 20×15 点のグリッド上に貼り付けられる (図 3(a))。その後、約 2 秒かけてスムーズにコンテンツが縮み、移動の準備をしていることを表す。コンテンツが縮むことで何も描かれていない領域が生まれ、移動を示す線や残像など、エフェクトを描画するために利用される。
- ◆ **Set:** 移動の方向を提示するためのアニメーションである。力を溜めるようにコンテンツの縮みを表現することにより、移動する方向を表現する (図 3(b))。アニメーションは 0.5 秒間で行われ、縮んだ状態で 0.2 秒ほど停止する。
- ◆ **Go:** Set で示された移動方向に対してテーブルが移動中であることを示すアニメーションである。圧縮された状態から移動を始める瞬間に素早く伸び広がり、移動方向へ向けて矢のような形に変形する (図 3(c))。動きを強調するために Speedlines⁹⁾ と残像をコンテンツの後方に表示している。このアニメーションはテーブルの動きと連動しており、物理的な停止によってアニメーションも Stop へと移行する。
- ◆ **Stop:** 停止したことを表現する。コンテンツは直前まで移動していた方向に押し潰されるような形になり (図 3(d))、その後ゆっくりと画像の形が長方形に戻る。このアニメーションは約 0.4 秒間で行われる。
- ◆ **Relax:** 停止した後のコンテンツを再び通常利用するために、元の画面の大きさに戻る動きを行う (図 3(e))。コンテンツの四隅を画面の端に戻す動きから始まり、約 2 秒間続く。Relax が終了すると、再びテーブルを操作することが可能になる。このアニメーションが終了した時点でテーブルの移動が完了したことを示し、ディスプレイは移動前と同じ状態になる。

5. MT の利用シナリオ

MovementTable は、主にオフィスや公共の場での利用が想定される。オフィスでは、MT はパーソナルデスクトップになり得るため、ある方針 (スケジュールや現在の作業進捗内容などを見て) に従って MT を自律的に動かすことで、状況に合わせて作業空間が調整されていくと同時に、人々の動きにも大きな刺激を与える。例えば、MT の移動 (接近) によってある特定の人に作業環境そのものを提供することもできる。複数人の会話場に MT を提供すると、その場を臨時的な情報作業空間とすることもできる。また、複数台の MT を協調的に動かすことで、基本的なプライバシーやグループワークなどを物理的に制御できる。複数台 MT の結合と分離は、作業空間の位置だけではなくサイズ



(a) 実際のアニメーション中のグリッド



(b) Squash-and-stretch のイメージ図

図 4 Squash-and-Stretch を利用したアニメーション

や形なども調整することができるため、空間の制約を生かしつつ、作業のサイズ (人数など) や特性 (操作コンテンツなど) にあった作業空間を多様な形態で提供することができる。これらを実行するためには十分なスペースが必要であるが、個人所有のテーブルを配置しないフリーアドレスオフィスなどと親和性が高いと考えられる。また、オフィスに似た形態の作業環境として、教室などの教育現場でも興味深い効果が期待できる。そのほか、営業活動などが行われる公共空間 (広大なショッピングモール、駅、空港など) においても、来場者または現場でのセールス活動にむけて臨時でかつ効果的な作業空間を提供したり、一種の空間を演出したりできる。デジタルテーブルであることを活かして何かをモノや情報を提供したり、地図によって案内したり、広告塔として運用することも可能である。

これらを実現するためには、MT がまず人々に受け入れられる存在かどうか、また MT の基本的な動きによって人々がどのように反応するのかを検証する必要があるが、現時点では、シナリオベースでの実証的実験をする段階にはない。そのため、本稿の以降の章では、MT の主要な要素と動きを取り上げて基礎的な検証を行い、今後の研究に役立つ基礎的知見の確立を目指す。

6. ユーザスタディ

Motion Stylization の効果や MT の動きの理解に関する実験 (実験 1 と実験 2) とインタラクティブタスクを伴うユーザスタディ (実験 3 と実験 4) の 4 つの実験を行った。まず、Motion Stylization の検証では、4 章で述べた Motion Stylization (アニメーション) を利用したテーブルの動きを観察実験により評価し、移動するデジタルテーブルに対する印象やテーブルの意図の理解に関して検討した。インタラクティブ実験では、実際に MT のテーブル面で情報コンテンツに触れるタスクを与え、作業中の MT の自律移動が、利用者の作業空間の認識に与える影響について検討した。

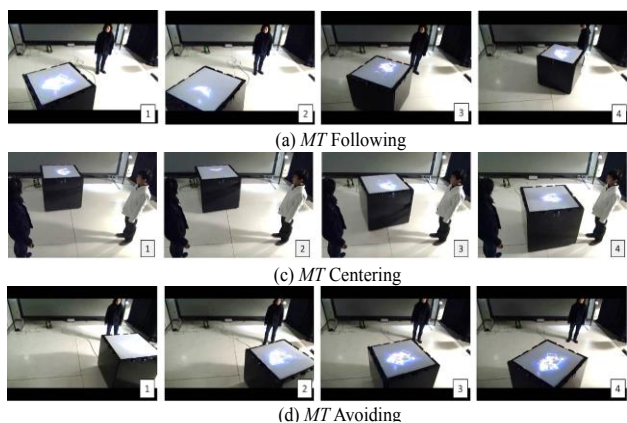


図 5 実験 2 における主な移動方法

6.1 Motion Stylization および MT の移動についての理解

本節では, Motion Stylization によって *MTSr* を使用し, テーブルの移動を予測可能か, または移動するテーブルの目的を理解することができたかなどについて観察実験により調査した. 実験 1 では, テーブルの最も基本的な動きである直線運動におけるアニメーションの効果を検証し, 実験 2 では, 主なテーブルの行動パターン数種を見せ, テーブルの動きを予測できるかどうか, また, テーブルの動きをどのように理解したかを調査した.

6.1.1 アニメーションによるテーブル移動の手がりの提示手法の評価 (実験 1)

実験方法

本観察実験は五メートル四方の部屋で行われた. *MT* について知識を持たない 14 名の大学生 (男性 6 名, 女性 8 名, 平均年齢 21.9 歳) が参加した. この実験では, テーブルトップ上にアニメーションが表示されている場合 (Animated Motion Stylization: AMS) とアニメーションなしの静止画像が表示されている場合 (Static Image: SI) の 2 つの状態でのテーブル移動を評価し比較した. 試行の順番はカウンターバランスを考慮して決定した. 実験では図 3 に示した画像をディスプレイ上に表示し, テーブルは一定の時間間隔で, 約 3 メートルの直線往復移動を 12 回繰り返した. 参加者は, テーブルの移動軌道から約 1 メートル離れた位置からその運動を観察し, 終了後に 5 段階リッカート尺度を用いたアンケート (1: とてもそう思う 5: あまりそう思わない) と簡単なインタビューに回答した.

実験結果と考察

全ての実験参加者はアニメーションの意図を理解することができ, SI 状態よりも AMS 状態の方がテーブルの動きを予測しやすかったと答えた. 更に, 実験参加者は SI 状態よりも AMS 状態のときにテーブル上のコンテンツを注視したと回答をした (AMS: 4.57 > SI: 3.43, $p < .05$, 分散分析の結果による). また, テーブルの移動に驚いたという質問には, 最初に目にした状態が AMS だった時には 2.71, SI だった時には 3.42 という回答が得られたことから, アニメーションによりテーブル上のコンテンツを注視

するようになり, 驚きを軽減させる効果があったと考えられる. しかし, 第一回目観察における驚きは当然であり一般的な反応である. アンケートの結果を簡単にまとめると, *MT* のアニメーションはテーブル上のコンテンツに注目させるとともに, 移動の開始を予測する手がかりとなることが分かった.

インタビューにて, 5 ステップで構成されるアニメーションのどの動きが印象に残ったかを尋ねると, ほとんどの実験参加者は移動する直前の一連の 3 つの段階 (Ready, Set, Go, 図 3(a), (b), (c)) と回答した. 特に, アンケートの“アニメーションがテーブルを引っ張っていると感じた”という質問について, Go の結果は平均 3.58 と最も高かった. Stop のアニメーションは, テーブルの停止を示すことに成功していた一方で (AMS: 4.07), “テーブルが停止した時に, テーブルがリラックスしていると感じた”という質問に対し, AMS では 1.86, SI では 1.36 という点数であったことから, Relax を十分に表現しきれていなかったと考えられる ($p > .10$). また, 多くの実験参加者はアニメーションによって *MT* の動きを予測しやすかったと回答した. その他にも, *MT* 自体やアニメーションについて, “楽しい”, “面白い”, “テーブルが便利になった” など, 肯定的な意見が多数見られた.

6.1.2 テーブルの基本的な動きの理解度の検証 (実験 2)

実験 2 では, 数パターンの基本的なテーブルの振る舞いを観察者がどのように理解するか, そしてテーブルとテーブルを利用するユーザ (演者) の関係についてどのように認識するかを評価した. 実験環境は実験 1 と同一である.

実験方法

MT について知らされていない 10 人の実験参加者 (男性 4 名, 女性 6 名, 平均年齢 22.5 歳) が, 1 名ずつ *MT* による基本的な 6 種類の振る舞いを観察した. 実験中, 実験参加者は *MT* から 1 メートル離れた位置から 30 秒間 *MT* の動きを観察し, その後, *MT* の振る舞いの理解に関するアンケートに回答した. 6 種類の振る舞いの中には, 人とテーブルの連携的な動きを持つものもあり, これは予め練習をしたスタッフが演者として動作させた. この実験でも, 条件の提示順序は, 実験参加者間でバランスを考慮して決定した. この実験での 6 種の *MT* の振る舞いの詳細は以下に示すが, これらのうち, 特に後半の 3 つの振る舞いは, 5 章にて述べた *MT* の利用場面 (テーブルの提供による作業場の提供や維持など) へ向けての中心的な動きであるために選択された.

- ◆ **Stand** – *MT* は部屋の中央に置かれ, テーブル上には何も表示せず, 静止したまま
- ◆ **Move** – *MT* はテーブル上に静止画像を表示し, 部屋の中でランダムに動き回る
- ◆ **MT Move** – *MT* は設計したアニメーションを表示しながら部屋の中をランダムに動き回る

- ◆ **MT Following** – MT は位置情報をもとに、部屋を歩き回る人を自動的に追従する。30 秒間の試行中、演者によって繰り返し行われる (図 5 (a)).
- ◆ **MT Centering** – MT は位置情報をもとに、利用者と仮定した 2 人の演者の間 (中心) に向かって移動し、ちょうど二人の間で停止する。30 秒間に何度か演者によって繰り返される (図 5 (b)).
- ◆ **MT Avoiding** – MT は位置情報をもとに、部屋の中を動き回る人から可能な限り遠くへ移動する。これも演者によって 30 秒間で数回繰り返される (図 5 (c)).

実験結果と考察

実験 2 の結果は Godspeed HRI²⁾ とアンケートによって評価した。アンケートでは、参加者が MT を観察して感じたものを、6 種の振る舞いの候補から選ぶものであった。表 1 に実験参加者が選んだ結果を示す。アンケートの結果、実験参加者は MT の振る舞いを概ね正しく理解できていたと言える。例えば、表 1 より、MT Following の状態は“テーブルが人を追従している”と認識され、MT Centering の状態は“テーブルが人を追従している”“テーブルが人に使われるようと近付いている”と認識されていることがわかった。一方で、MT Avoiding の状態はあまり正しく理解されなかった (5/10 人)。原因としては、MT は演者とあまり関わっていないことや、この条件における MT の移動が遅かったため、逃げる動きに見えなかったことが考えられる。

Godspeed アンケートでは、MT の 6 種の振る舞いについて擬人化、有生性、好ましさ、感知能力、安全性の 5 つの尺度からロボットの能力を 5 段階で評価した。以降の報告は、分散分析とボンフェローニ法によって処理した内容に基づく。擬人化については、点数は低め (Stand: 2.1, Move: 1.7, Animation: 2.5, MT Move: 2.5, MT Avoiding: 2.7) であったが、MT Following の状態だけ 3.4 と数値がやや高くなっている。この結果から、MT Following の状態は友好的に見られていたことがわかる。有生性は生物のように感じられたかどうかを評価する項目で、MT Following, MT Centering, MT Avoiding の 3 つはそれぞれ 3.7, 3.6, 3.5 と他の状態よりも高い値を示した。“生き物のようだった”“テーブルは作業場所を提供していた”といったアンケート項目やインタビューからも同様の結果が得られた。好ましさについては、MT Following (3.7) と MT Centering (4.0) でとても高い点数が得られた。感知能力については、好ましさと同様に、MT Following と MT Centering の点数が高いという傾向が見られた。安全性については、Static は安全性に関してまったく問題視されなかった一方で、MT Avoiding では否定的な結果になった。MT の移動のぎこちなさや筐体の大きさについても指摘されており、ハードウェアに関するこれらの要素が安全性に関する印象にやや否定的な影響を与えた可能性がある。

表 1 実験 2 アンケート結果

状態	被験者の回答 (人)					
	止まっている	ランダムに	動こうとしている	ついて行っている	使われるために	避けている
	動いている			動いている		
Stand	10	0	0	0	0	0
Move	0	6	4	0	0	0
MT Move	0	3	7	0	0	0
MT Following	0	0	1	9	0	0
MT Centering	0	0	2	4	4	0
MT Avoiding	0	2	3	0	0	5

実験の結果、実験参加者は MT の基本的な移動目的を概ね理解することができたと言える。また、Godspeed の結果より、MT Following と MT Centering の二つの動きにおいて、得に実験参加者は好ましい、安全であるといった肯定的な印象を持っていたという結果が得られた。この二つの動きから構成されるアプリケーションや場面は多いため、重要な結果であると言える。

6.2 インタラクティブ実験

実験 1 と実験 2 では、アニメーションによる移動の手がかりの提示と、アニメーションによる MT の目的の理解度について検討を行った。これらにより、実験参加者は MT の移動を概ね理解できていたと言える。そこで本節では、より現実に近い状況を想定し、実験参加者が実際に MT に触れ、タッチディスプレイ上でなんらかのタスクを行う場面における MT の移動の効果について評価した。ここでも 2 つの実験をデザインし、実験 3 は 1 人のユーザが 1 つの MT を利用する場合について、実験 4 は 2 人のユーザが 2 つの MT を利用してタスクを行う場合を扱った。これらの実験における MT の動きの条件も、5 章で述べたようなシナリオを実現するにあたっての基本的なもの (グループワークにおける作業空間の提供、結合、分離など) であるために選定された。この 2 つのインタラクティブ実験では、よりコンパクトで自由度が高く、かつタッチサーフェスの感覚がよい MT Jr を使用した。また、自律エージェントなどの効果を評価するときに一般的である Wizard of Oz¹²⁾ 方式を採用し、テーブルの移動のタイミングは我々があらかじめ決めた方針 (経過時間) によって制御した。実験中はモーションキャプチャを利用してテーブルと実験参加者の位置をリアルタイムで取得し、実験者が危険だと判断した場合には手動で実験を中止することが可能であった。

6.2.1 単独ユーザによる MT 利用の評価 (実験 3)

実験 3 では、単体の MT の基本的な移動が一人のユーザに与える影響について調査した。実験 1 と同様にテーブルの動きは基本的な前後移動であるが、実験参加者が実際にテーブル上のコンテンツに触ることができた。

実験方法

実験参加者は MT について知識を持たない 12 人の大学生 (男性 8 人、女性 4 人、平均年齢 21.8 歳) であり、実験 1, 2 と同一の部屋で行われた。テーブルの移動について、基本的な三パターンである Static, Approaching, Avoiding (図 6) の 3 つの状態を取り上げ、実験参加者は与えられた条件において、テーブル上で、単純な画像の選択などのイ

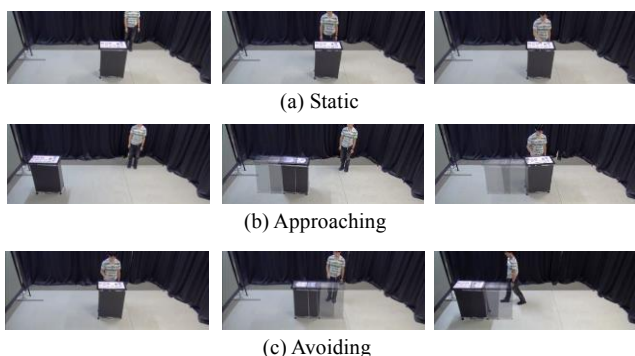


図 6 実験 3 での *MovementTable* の条件

インタラクションを行った。ディスプレイ上には画像を選択するためのブラウザが表示されており、指による操作が可能であった(図 2 (b))。ブラウザは左右 2 つに分割表示され、左半分には我々が選んだ 20 枚の画像が並べられ、右半分には実験参加者が選択した画像が拡大表示されていた。コンテンツは政治、スポーツ、趣味などに関わる時事的な問題からランダムで選択した。これらのコンテンツに強い意図はなく一般的でタッチできることが認識しやすい身近なものとして選んだ。

本実験では、実験参加者に対して事前にテーブルの使い方は教示せず、テーブルのみが置かれた実験室の中で自由に過ごすように伝えた。それぞれの試行は約 40 秒間程度であり、これは *MT* の移動が終了した時点で実験時間の半分が過ぎるように設定したものである。テーブルの移動中には提案する *Motion Stylization* は実行されていた。

今回評価した 3 つの移動条件の詳細を次に示す。

- ◆ **Static** – 基本となる状態である。*MT* は部屋の中心に置かれ、移動はしない
- ◆ **Approaching** – 最初に *MT* は部屋の中央から約 2 メートル離れて置かれている。実験参加者が入室してから 10 秒後に *MT* は部屋の中央に向けて移動する
- ◆ **Avoiding** – 最初に *MT* は部屋の中央に置かれている。実験参加者が入室してから約 10 秒後、ユーザから離れるように *MT* が移動する。

実験結果と考察

実験の評価は 5 段階のリッカート尺度を利用したアンケートやインタビューに加え、ビデオコーディングで参加者の振る舞いについても解析した。実験に際して *MT* と実験参加者が衝突してしまうことはなく、実験参加者から安全面に対する懸念もなかった。

全体を通して、実験参加者は *MT* の移動と我々が提案するアニメーションに肯定的な意見を示した。一部の実験参加者からはテーブルが移動を開始するタイミングが重要であるという指摘があった。ビデオコーディングでは、テーブルの移動に合わせて移動した、ディスプレイに触れたなど、すべての挙動の回数を計測し、条件間でまとめて比較を行った。特徴的な観察結果は次のとおりである。

- 全ての実験参加者は *MT* に接近した。約 30% の実験参加者は *MT* が移動してすぐに *MT* を追いかけた
- *MT* が移動した後、周りを見回す、テーブルの周囲を歩き回る、という様子が頻繁に見られた
- 全ての実験参加者は *MT* の画面に触れたが、移動前よりも移動後の方が触れる回数が多かった
- 1 回目の試行で *MT* が動いた瞬間に驚いていた実験参加者もいたが、2 回目以降はほぼいなかった

アンケートの結果を分散分析した結果、条件間の統計的な差はほとんどなく、平均値も総じて低かった。例外として、**Approaching** と **Avoiding** では“このデジタルテーブルは面白い”という項目が高い値を示した。インタビューでは、実験の目的がわからないという意見があったが、実験中はすべての実験参加者が *MT* の画面に触れ、テーブルの移動によって立ち位置を変化させる等の行動を自然に行っていることを確認している。

全ての実験参加者はテーブルが面白いと感じていたものの、本実験のデザインでは、ほとんどの実験参加者は *MT* の移動前に接近したために *MT Approaching* と *MT Avoiding* に大きな差が出なかった。また、単独の *MT* を一人で利用する場合には単なるロボット型のデジタルテーブルと認識された可能性もあり、テーブルとしての社会的な機能(人々が場所を共有する、人が集まるなど)が薄れていた可能性が高い。これらは観察やインタビューから得られた筆者の考察であり、本研究では、この実験 3 を試験的なものと位置付け、実験 4 にて、より社会的な機能を評価することができる協調作業場面について検討する。複数人での作業においては、通常、プライバシーや情報共有などをバランスよく持つことが重要であり、作業空間をどのように利用し運用するか(他者と離れるか、結合するか)については非常に重要な課題である。そのため、5 章でも述べたように、複数台の *MT* の協調的移動、特にテーブルの自律的結合と分離がどのような効果を生み出すかを実験 4 にて検討する。

6.2.2 複数人での複数 *MT* 利用の評価(実験 4)

実験 4 では、連携して移動する複数の *MT* によって、複数人での作業に与える影響について調査した。協調作業の支援に関する研究は複雑な過程を持つことが多く、非常に難しい研究領域である。本実験では可能な限り単純化し、二台の *MT* を用いて、二人でタスクを行っている際に基本的な結合・分離動作がどのような影響をもたらすかを検証した。本実験も実験 3 と同様に Wizard of Oz¹²⁾ 実験を採用し、条件間で差が出ないように、タスク開始から一定時間経過後に *MT* が移動するように設定した。

実験方法

実験参加者は実験 3 と同じ 12 人の大学生であり、実験

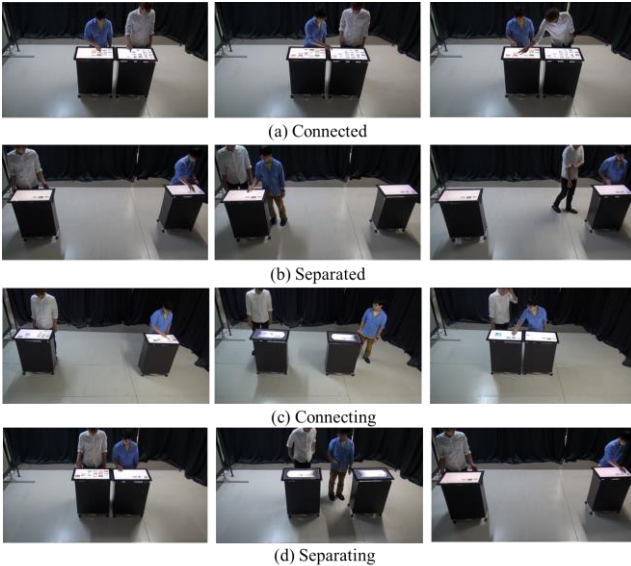


図 7 実験 4 での *Movement Table* の条件

3 終了後に参加した。2 名ずつ 6 つのグループに分かれて実験 3 と同一の部屋で実験を行った。それぞれの組はお互いに顔見知りであり、実験 3 を通して *MT* の移動や画像選択の方法については既に理解していた。本実験は協調作業の質に与える影響まで踏み込まず、参加者の空間行動や作業環境の認知にどのような影響を残したかを調査するものである。そのため、本実験では、個々人が独立にテーブル上のコンテンツを操作する必要があり、かつお互いの選択情報をなどから協調的な作業が必要であるという基本的な二つの特徴が含まれるストーリーテリングタスクと呼ばれる一般的なものを採用した。実験室には二台の *MT* がある条件で配置されており、実験参加者は入室後自由に *MT* を利用できる。その後、3 枚の画像を個人で選択し、2 人とも選択が終了したらお互いに選んだ画像を組み合わせた 6 枚の画像から 1 つの物語を作るように指示した。物語が類似することを避けるため、4 つの状態それぞれに別のテーマを与えた（例えば、趣味や時事問題など）。実験 4 では事前に行った予備調査より、多くの実験参加者が 1 枚目の画像選択を終了する、実験開始から 30 秒の時点で移動を開始するように設定した。

以上のタスクを用い、*MT* の次の 4 つの状態について比較した。

- ◆ **Connected** – *MT* は横に並んだ状態で部屋の中央に設置される（図 7 (a)）。それぞれのディスプレイでは別々に画像表示が行われている。*MT* は移動しない
- ◆ **Separated** – *MT* はお互い約 1.8m 離れて設置されている（図 7 (b)）。この距離は、相手のディスプレイをみるのが難しい距離として、予備的検討を通して設定した。*MT* は移動しない。
- ◆ **Connecting** – *MT* は最初に約 1.8m 離れた状態で設置され（図 7 (c)）、タスク開始から約 30 秒経過する

表 2 実験 4 アンケート結果

質問	状態	値		有意差
		値	有意差	
1 テーブルについて行こうと思った	connected	1.4]]]]	
	separated	1.9		
	connecting	4.1		
	separating	4.2		
2 相手との会話を始めようと思った	connected	2.7]]]]	
	separated	2.9		
	connecting	4.1		
	separating	3.5		
3 相手との会話を終えようと思った	connected	1.5]]]]	
	separated	1.2		
	connecting	1.3		
	separating	2.4		
4 一緒に作業をしようと思った	connected	4.5]]]]	
	separated	3.4		
	connecting	4.1		
	separating	3.3		
5 別々に作業をしようと思った	connected	2.3]]]]	
	separated	2.8		
	connecting	2.2		
	separating	3.3		
6 テーブルの動きが邪魔だった	connected	1.3]]]]	
	separated	1.3		
	connecting	2.4		
	separating	3.6		
7 プライバシーが守られていると感じた	connected	2.3]]]]	
	separated	3.3		
	connecting	2.6		
	separating	2.9		
8 協力して取り組めた	connected	4.5]]]]	
	separated	4.3		
	connecting	4.7		
	separating	3.9		

とお互いに接近し、横に並んだ状態で停止する

- ◆ **Separating** – *MT* は最初に横並びの状態では設置されており（図 7 (d)）、タスク開始から約 30 秒経過すると離れるように移動し、約 1.8m 離れると停止する
実験の条件提示順はカウンターバランスを考慮して決定した。Connecting と Separating の移動では、Motion Stylization を利用し、移動に関する手がかりを提示した。

実験結果と考察

本実験では、4 つの状態それぞれにおける実験参加者の振る舞いや *MT* に関する印象を、アンケートとビデオコーディング、インタビューによって評価した。アンケート結果はジャック・ベラ検定によって正規性が示された項目は分散分析を用い、示されなかった項目はフリードマン検定によって解析した。アンケート結果のうち、特徴的な差異が出たものに関して表 2 にまとめた。表中の右端欄のブリッジは、5%以下の有意差が見られた条件の組み合わせを表す。まず、表 2 中、“デジタルテーブルについて行こうと思った”という質問について、Connecting と Separating における数値が高くなっていることから、*MT* の移動はユーザの立ち位置または移動の意識を高めたと言える（問 1）。また、Connecting で *MT* が接近することによって 2 人の実験参加者もお互いに接近し、会話を始めようとした傾向が見られた（問 2）。その一方で、実験参加者は、Separating では *MT* が離れる動きをきっかけとして会話を終えようとし（問 3）、Connected と Connecting の状態では一緒に作業をしようと思ったと回答している（問 4）。それとは逆に Separated と Separating では相手と離れることで個人の作業（画像を選択するなど）に集中する様子が見られた（問 5）。似たような効果は問 8 にも表れ、

実験参加者は *Separating* 以外の状態において特に一緒に作業を行う意思を見せた。問 6 は、*MT* の移動が邪魔だったかどうかを評価している。*Separating* と *Connecting* といったテーブルに動きが加わる状態では静止状態に比べて邪魔であるという回答がされているものの、その平均はそれぞれ 2.4, 3.6 とそれほど高くなく、*Separating* で高い評価値になっていることは、問 5 の結果からも説明することができる。

ビデオコーディングについては、実験 3 と同様の方法で実施した。実験 4 で得られた特徴的なものを次に示す。

- 実験参加者は全員 *MT* に接近し、テーブルに触れた
- 約 70% の実験参加者は *MT* が移動すると同時にテーブルを追うように動いた。実験参加者に対して事前の教示は何もなかったため、自発的に動いたと言える。*Separating* で自分が移動前に使っていたテーブルを追わなかった実験参加者は、もう 1 人が使っていたテーブルを共有する動きを見せた
- 実験参加者と *MT* は衝突しなかったが、約 16% の実験参加者は移動中の *MT* を避ける動きを見せた
- *Connecting* と *Separating* において、テーブルの移動後は移動前よりも周囲に目を向けることが多くなり、相手のディスプレイを見る回数も増えた
- *Connected* と *Connecting* では離れた状態よりも相手のディスプレイを指差す回数が多く、*Connecting* の移動後で特に顕著に見られた

作業領域は *MT* の結合・分離といった動きに依存して変化し、実験参加者の空間行動や協調作業に対して大きな影響を与えていた。タスク中の動的な *MT* の結合により、更に協力して作業に取り組もうという意識が強くなる傾向が見られた一方で、タスク中の *MT* の分離では、分かれてタスクを行うように誘導されたと感じ、かつ協調して作業に取り組むことも物理的に難しくなっていた。これらが協調作業に寄与するかどうかは利用の方法次第であり、今後の課題であるが、*MT* によってもたらされた作業領域の動的な変更が人の動きや配置に影響するという結果は基本的ながら非常に重要な知見である。ただし、空間を分離されても相手に接近する、相手の方向を見る等の行動で克服しようとする様子も見られ、完全な強制力があるものではないことも観察から分かっており、様々な変化をもたらすことを考慮してインタラクションデザインを考えてゆきたい。

今回の課題として、利用したディスプレイには約 4cm のベゼルが存在し、2 つのテーブルが隙間なく結合している状態でも表示領域が完全には繋がっていなかった。また、実験参加者は互いに知り合いであったため、共同作業を行うのが比較的容易であったという制約がある。しかしながら、実際の環境で慎重な協調作業を行う多くの場合は会社

や研究室の仲間など近い間柄で行われることが多いため、現実的な実験環境における結果であると認識している。公共の場や就職面接など初対面同士での協調作業環境の実験なども非常に興味深い課題である。

7. 議論

7.1 実験結果

MT は移動可能であり、*Motion Stylization* によってユーザに注意を促すという点を利用し、ユーザの行動を支援、誘導することなどが期待できる。移動と同時に *Motion Stylization* を手がかりとして提示することにより、実験参加者は我々が提示した *MT* の動作をある程度理解することができていたことから、*MT* が社会的に受け入れられ利用されていく可能性が示唆された。今後は、直線前後運動以外にも様々な動作方法について検討してゆきたい。

7.2 *MovementTable* の実装

本稿では、*MovementTable Senior* と *MovementTable Junior* の 2 種類の *MovementTable* を試作した。実用場面にむけては様々な技術的課題があるが、本実験では問題なく稼働し、*WoZ* 実験を始め様々な心理学的実験などに向けてはほぼ準備が整っている状態である。実際の公共場面などの環境で利用していくためには、物理的な移動方法やアルゴリズム、静粛性や、移動の手がかりについてより強力なものを用意しなければならない。また、ベゼルのないディスプレイによって継ぎ目の目立たない大きな表示領域を提供することなども実装に関する非常に重要な課題である。

7.3 テーブルコンテンツを利用した *Motion Stylization*

実験の結果から、テーブルの物理的な動きと連動して動く *Motion Stylization* は満足のいくものであり、ユーザに対する非言語情報の手がかりは *MT* の移動を予測するきっかけとして有効であった。移動の直前まで利用していたコンテンツをアニメーションとして用いることで、それまでの情報を損なうことなく移動の合図を出すことが可能であった。この情報提示の方法はインタラクティブテーブルの特徴的なものであり、音声による案内やロボットの物理的な変形などの方法とは違い、従来のテーブルの本質を損なうことなくユーザへの手がかりを提示することが可能である。また、アニメーションの高い表現技術を応用しテーブルのより多様な意図を表現できるようになれば、さらに興味深い検討が進むと考えられる。

7.4 *MovementTable* の移動と人の動き

インタラクティブ実験、特に実験 4 から、複数の *MT* の動きはユーザの空間行動に対して大きな影響を与えることがわかり、*MT* が結合する場合に顕著であった。最適な環境は時間やタスクとともに変化するものであり、その是非は本研究では議論しない。しかし、本来ユーザが能動的に、または無意識的に行う空間行動をテーブルの自律移動により促すことによって、従来よりも効率的にかつ適応的に快適

な空間を構成，維持することができ，コミュニケーションや協調的作業を活性化させることなどが期待できる。

実験4の結果に基づき，我々は今後，複数のMTを利用して更に複雑なテーブル配置について検討してゆく。今回の基本的な結合・分離を応用することにより，L字型やU字型のようなオフィス等で見られる形や，テーブルの数を増やすことで巨大な作業領域を作り出すことも可能である。アルゴリズムを更に洗練させることで，更に多くのMTを集合・分散させ，ユーザやタスクに適應してより満足のいく配置を提供することが可能であると考えられる。

8. まとめ

本稿では，自律移動可能なインタラクティブテーブルトップの実装，それに関連して自律移動の手がかりをユーザに対して提示する方法(Motion Stylization)の提案，そして協調作業の場においてMTの自律的移動が利用者を与える影響についての実験を行った。実験1と実験2ではアニメーションによるテーブル移動の予測と目的の理解度について実験を行った。実験3と実験4ではテーブルがユーザの空間行動に与える影響について実験を行った。その結果，Motion Stylizationはテーブルの移動を予測するための手がかりになり，テーブルの自律移動を理解できることが分かった。またテーブルの移動はユーザの空間行動を活発にし，複数台同時利用した場合において協調作業や場に対する印象を変化させたことを確認した。これらの基礎的な結果から，より発展的な心理学実験計画や，快適な作業空間を動的に提供するアプリケーションの可能性などを議論した。今後は，様々なテーブルの動きを実装し検証するとともに，実際の空間で利用する環境認識技術と組み合わせたシナリオによる評価実験などを検討してゆく予定である。

謝辞 本研究の一部は，科学研究費助成事業(26730101)の助成を受けた。

参考文献

- 1) Annett, M., Grossman, T., Wigdor, D., and Fitzmaurice, G. Medusa: a proximity-aware multi-touch tabletop, *UIST*, 337-346, 2011.
- 2) Bartneck, C., Kulic, D., Croft, E., and Zoghbi, S. Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots. *Int. J. Social Robotics*, 71-81, 2009.
- 3) Greenberg, S., Marquardt, N., Ballendat, T., Diaz-Marino, R., and Wang, M. Proxemic interactions: the new ubicomp?, *interactions*, 18, 1, 42-50, 2011.
- 4) Hall, E. The hidden dimension; Doubleday 1966.
- 5) Kendon, A. The F-formation system: Spatial-orientational relations in face-to-face interaction. *Man Environment Systems*, 6, 291-296, 1976.
- 6) Kwon, J., Lee, I. The squash-and-stretch stylization for character motions, *TVCG*, 18, 3, 488-499, 2012.
- 7) Marshall, P., Rogers, Y., and Pantidi, N. Using F-formations to analyse spatial patterns of interaction in physical environments, *CSCW*, pp. 445-454, 2011.
- 8) Marquardt, N., Hinckley, K., and Greenberg, S. Cross-device interaction via micro-mobility and f-formations. *UIST*, 13-22, 2012.
- 9) Masuch, M., Schlechtweg, S., and Schulz, R. Speedlines – depicting motion in motionless pictures, *SIGGRAPH Conf. Abst.* 277, 1999.
- 10) Miwa, H., Itoh, K., Ito, D., Takanobu, H., Takanishi, A. Design and Control of 9-DOFs Emotion Expression Humanoid Arm. *ICRA*, Vol. 1, pp.128-133, 2004.
- 11) Richter, S., Holz, C. and Baudisch, P. Bootstrapper: recognizing tabletop users by their shoes. *CHI*, 1249-1252, 2012.
- 12) Riek, L. Wizard of Oz Studies in HRI: a systematic review and new reporting guidelines, *J. Human-Robot Interaction*, Vol. 1, No. 1, 119-136, 2012
- 13) Ryall, K., Forlines, C., Shen, C., and Morris, M. Exploring the effects of group size and table size on interactions with tabletop shared-display groupware, *CSCW*, 284-293, 2004.
- 14) Satake, S., Kanda, T., Glas, D., Imai, M., Ishiguro, H., and Hagita, N. How to approach humans? –strategies for social robots to initiate interaction, *HRI*, 109-116, 2009.
- 15) Sawada, Y. and Tsubouchi, T. Autonomous re-alignment of multiple table robots, *IEEE Conf. on Robotics and Automation*, 1098-1099, 2010.
- 16) Scott, S., Carpendale, S., and Inkpen, K. Territoriality in collaborative tabletop workspaces, *CSCW*, 294-303, 2004.
- 17) Shibata, H., Kanoh, M., Kato, S., Itoh, H., A system for conveying robot ‘emotion’ into facial expressions. *ICRA*, 3660-3665, 2006.
- 18) Strauss, A. and J. Corbin, J. *Basics of qualitative research techniques and procedures for developing grounded theory*, Sage Publications, Inc., 2008.
- 19) Takashima, K., Aida, N., Yokoyama, H., and Kitamura, Y. TransfomTable: a self-actuated shape-changing digital table, *ITS*, 179-188, 2013.
- 20) Takayama, L., Dooley, D., and Ju, W. Expressing thought: improving robot readability with animation principles, *HRI*, 69-76, 2011.
- 21) Tang, A., Tory, M., Po, B., Neumann, P., and Carpendale, S. Collaborative coupling over tabletop displays, *CHI*, 1181-1190, 2006.
- 22) Tandler, P., Prante, P., Müller-Tomfelde, C., Streitz, N., and Steinmetz, R. ConneeTables: dynamic coupling of displays for flexible creation of shared workspaces, *UIST*, 11-20, 2001.
- 23) Young, J. Xin, M., and Sharlin, E. Robot expressionism through cartooning. *HRI*, pp. 309-316, 2007.
- 24) Young, J., Sharlin, E., and Igarashi, T. Teaching robots style: designing and evaluating style-by-demonstration for interactive robotic locomotion. *Human-Computer Interaction*, 28(5), 379-416, 2013.
- 25) 齊藤 緑, 大澤 博隆, 今井 倫太, コミュニケーションエージェントの感情変化と人との関係の変化の表示, *HAI*, 2011.
- 26) 坂本 登, 高嶋 和毅, 横山 ひとみ, 北村 喜文, 人の空間行動に応じた自走式デジタルテーブルの移動とコンテンツの提示に関する検討, ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 671-674, 2013.
- 27) 坂本 登, 高嶋 和毅, 横山 ひとみ, 北村 喜文, 自走式デジタルテーブルを使った空間行動の誘導によるコミュニケーション支援に関する検討, 電子情報通信技術研究報告, HCS2012-76, pp. 137-142, 2013.
- 28) 吉田 善紀, 小嶋 宏幸, 吉池 佑太, 岡田 美智男, Sociable Trash Box: ヒトとゴミ箱との相互構成的な関係を探る, *HIS2007*.